

REC'D 29 OCT 1999

WIPO

PCT

PCT/JP99/04539

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

09.09.99

JKU

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

09/673235

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 2月19日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第041865号

出 願 人

Applicant (s):

サンコール株式会社  
株式会社不二製作所  
株式会社不二機販

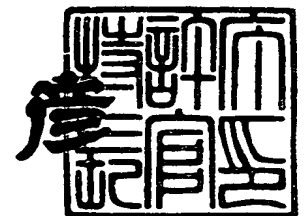
PRIORITY  
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

1999年10月15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特平11-306957

【書類名】 特許願

【整理番号】 P11-049

【提出日】 平成11年 2月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C21D 8/00

【発明の名称】 ばねの表面処理方法

【請求項の数】 9

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市右京区梅津西浦町 1 4 番地 サンコール株式会社内

    【氏名】 石田 雅昭

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市右京区梅津西浦町 1 4 番地 サンコール株式会社内

    【氏名】 宇津巻 和宏

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市右京区梅津西浦町 1 4 番地 サンコール株式会社内

    【氏名】 磯野 裕司

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市右京区梅津西浦町 1 4 番地 サンコール株式会社内

    【氏名】 寺床 圭一郎

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府京都市右京区梅津西浦町 1 4 番地 サンコール株式会社内

    【氏名】 山田 凱朗

【特許出願人】

    【識別番号】 000175722

【氏名又は名称】 サンコール株式会社

【代表者】 小林 一雄

【代理人】

【識別番号】 100064584

【弁理士】

【氏名又は名称】 江原 省吾

【選任した代理人】

【識別番号】 100093997

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 秀佳

【選任した代理人】

【識別番号】 100101616

【弁理士】

【氏名又は名称】 白石 吉之

【選任した代理人】

【識別番号】 100107423

【弁理士】

【氏名又は名称】 城村 邦彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019677

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9601649

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ばねの表面処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 600$  以上、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さ（最表面から 5 ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカース硬さ。以下同じ。）と同程度又はそれ以下の硬さを有する、比重が 7.5～9.0、粒径が  $20\ \mu m \sim 100\ \mu m$  の硬質金属粒子を、 $70\ m \sim 200\ m/sec$  の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層を除外）の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射することを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項 2】

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 500 \sim 800$  であって、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さよりも軟らかく、粒径  $500 \sim 900\ \mu m$  の硬質金属粒子を  $50\ m/sec \sim 90\ m/sec$  で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記 (B) 工程の後のばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 600$  以上、かつ、(B) 工程後のばね最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $20 \sim 100\ \mu m$ 、比重 7.5～9.0 の微細金属粒子を、 $70\ m/sec \sim 200\ m/sec$  の衝突速度であって、かつ、粒子衝突による窒化されたばね表層鉄地の瞬間的昇温限界を窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程とを有することを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項 3】

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化処理されたばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 500\sim800$  であって、かつ、窒化処理されたばねの最表層硬さよりも軟らかい、粒径  $500\sim900\ \mu m$  の硬質金属粒子を、 $50\ m\sim90\ m/sec$  で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記 (B) 工程の後のばねの表面へ、硬さが (B) 工程後の最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $0.2\sim0.4\ mm$  径の硬質金属粒子を投射して圧縮残留応力と硬さを増大させる工程と、

(D) 前記 (C) 工程の後のばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 600$  以上、かつ、(C) 工程後の最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $20\sim100\ \mu m$ 、比重  $7.5\sim9.0$  の微細金属粒子を、 $70\ m\sim200\ m/sec$  の衝突速度であって、かつ、粒子衝突によるばね表層部の瞬間的昇温限界を窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、窒化されたばね表層部の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程と、

を有することを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項 4】

請求項 2 又は 3 の工程 (B) と (C) の間、又は請求項 3 の工程 (C) と (D) の間に、ばねを  $150^{\circ}C$  から  $250^{\circ}C$  の温度に保持して歪時効硬化を起こさせる工程を挿入したことを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項 5】

ばねの最表層硬さが  $Hv\ 800\sim1100$  となるように窒化処理した請求項 1 から 4 のいずれか記載のばねの表面処理方法。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれかの方法で製造したばねを、無負荷または静負荷のもとで、 $150\sim250^{\circ}C$  の温度に保持して歪時効硬化を起こさせることを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項 7】

(A) ばねの表層を窒化処理する工程と、

(B) 窒化処理されたばねの表面へ、硬さ  $Hv\ 600$  以上、かつ、窒化処理されたばねの最表層硬さ（最表面から 5 ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカ

ース硬さ。以下同じ。)と同等以下の硬さを有する、比重が7.5~9.0、粒径が $20\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を、 $95\text{m/sec}\pm 20\%$ ( $76\sim 114\text{m/sec}$ )の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地(窒素化合物層を除外)の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射することを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項8】

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ $H_v 500\sim 800$ であって、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さよりも軟らかく、粒径 $500\sim 900\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を $50\text{m/sec}\sim 90\text{m/sec}$ で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記(B)工程の後のばねの表面へ、硬さ $H_v 600$ 以上、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さ(最表面から5ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカース硬さ。以下同じ。)と同等以下の硬さを有する、比重が7.5~9.0、粒径が $20\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を、 $95\text{m/sec}\pm 20\%$ ( $76\sim 114\text{m/sec}$ )の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地(窒素化合物層を除外)の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程とを有することを特徴とするばねの表面処理方法。

【請求項9】

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ $H_v 500\sim 800$ であって、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さよりも軟らかい、粒径 $500\sim 900\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を、 $50\text{m}\sim 90\text{m/sec}$ で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記(B)工程の後のばねの表面へ、硬さが(B)工程後の最表層硬さと

同等以下の硬さを有する、粒径 0.2~0.4 mm 径の硬質金属粒子を投射して圧縮残留応力と硬さを増大させる工程と、

(D) 前記 (C) 工程の後のばねの表面へ、硬さ Hv 600 以上、かつ、窒化処理されたばねの最表層硬さ（最表面から 5 ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカース硬さ。以下同じ。）と同等以下の硬さを有する、比重が 7.5~9.0、粒径が 20  $\mu$ m~100  $\mu$ m の硬質金属粒子を、95 m/sec  $\pm$  20% (76~114 m/sec) の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層を除外）の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程と、

を有することを特徴とするばねの表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ショットピーニングの前の窒化処理と、ビッカース硬さが Hv 600 以上であり、かつ、窒化処理されたばねの最表層硬さ（最表面から 5 ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカース硬さ。以下同じ。）と同等以下の硬さを有する、粒径 100  $\mu$ m 以下の微細金属粒子による高速ショットピーニング処理（以下「SS 処理」という）とを組合わせた、ばねの耐久性を向上させる表面処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

内燃機関の弁ばね、内燃機関の動力伝達用クラッチに使用するクラッチばね等のコイルばね又は平板形状の各種ばね等には、通常、粒径 0.2~0.8 mm のショット粒によるショットピーニングが施される。

【0003】

また、ショットピーニングの特殊な方法としては、金属微粒子の高速投射によって A3 変態点以上の温度に加熱した後急冷する方法（特公平 2-17607 号「金属製品の表面加工熱処理法」）や、回復再結晶温度以下であって 150℃ 以

上の温度で金属微粒子を高速投射して耐久性を高める方法（特開平9-279229号「鋼製ワークの表面処理方法」）などが提案されている。

【0004】

さらに、加熱されたばねを温間でショットピーニングする技術も知られている。

【0005】

その他、弁ばね、クラッチばね等のコイルばねの耐久性向上のための技術として、窒化処理とショットピーニングの組み合わせ技術や、窒化に適したばね材料を使用して窒化とショットピーニングの最適化を追求した技術などがある。また、窒化した後に超硬微粒子を投射する技術も最近提案されている（特開平10-118930号）。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

従来のショットピーニング技術によってある程度のばねの耐久性や耐疲労破壊性能は得られる。しかし、従来の例えば窒化を組合わせたショットピーニングでも、表層残留応力や疲労強度ないしコスト面で必ずしも十分なものは得られていないのが実状である。

【0007】

さらに、窒化後に超硬微粒子を投射する前記の技術（特開平10-118930号）では次のような問題がある。すなわち、超硬微粒子がワークに衝突すると、この時の衝突エネルギーによってワーク表層部に弾性変形及び塑性変形が短時間で起り、被衝突部近傍では瞬間的ではあるがかなりの温度上昇が生じる。このため、ワークの被衝突部近傍の降伏点は粒子衝突前に比べて瞬間的ではあるが低下し、ショットピーニングによるワークの塑性変形が起る。ショット粒子が比較的軟らかいと、ショット粒子自体も弾性変形と塑性変形を受けて変形しつつ衝突する。ところが、ショット粒子が超硬粒子のように $Hv1200$ 程度以上となり、ワーク表面よりはるかに硬さがアップすると、衝突時の塑性変形は被加工材に集中して起ることになり、衝突エネルギー（ $E = mv^2 / 2$ ）は同じであっても、超硬粒子の場合では被加工材表面のへこみが大きくなって表面粗さが増大



し、そのため、化合物層の破壊によるミクロクラックや断熱せん断帯が生じやすいのである。また、超硬粒子は鋼製微粒子に比べて非常に高価であり、メーカーも少なく、入手が非常に困難であるなどの多くの問題を抱えている。

【0008】

また、例えば窒化処理をする場合は、疲労折損防止の観点から窒化前の表面粗さを制御して、窒化後の表面粗さや窒化・ショットピーニング後の表面粗さが $5\mu\text{m}$ 以下となるような制御が行われる場合もあるが、このような表面粗さの制御をすると処理工程が複雑になる。

【0009】

本発明は弁ばねやクラッチばね等の窒化処理による耐久性、特に耐疲労破壊性能を比較的低コストで向上させることを目的とし、具体的には、前述した表面粗さを特別厳格に管理しなくても十分な耐疲労破壊性能を実現できるように、極表層～数 $10\mu\text{m}$ 深さまでの圧縮残留応力を最大にするとともに、断熱せん断帯の発生防止と、オーバーピーニングになることがなくてオーバーピーニングによる表層のミクロクラック発生で疲労強度が低下することのない、ばねの表面処理方法を提供するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するため本発明の第1の処理方法は、

(A) ばねの表層を窒化処理する工程と、

(B) 窒化処理されたばねの表面へ、硬さ $H_v 600$ 以上、かつ、窒化処理されたばねの最表層硬さ（最表面から5ミクロン程度の深さ位置でのマイクロビッカース硬さ。以下同じ。）と同等以下の硬さを有する、比重が $7.5\sim 9.0$ 、粒径が $20\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を、 $70\text{m}\sim 200\text{m}/\text{sec}$ の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層を除外）の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射することを特徴とする。

【0011】

また本発明の第2の処理方法は、

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ  $H_v 500 \sim 800$  であって、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さよりも軟らかく、粒径  $500 \sim 900 \mu m$  の硬質金属粒子を  $50 m/sec \sim 90 m/sec$  で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記 (B) 工程の後のばねの表面へ、硬さ  $H_v 600$  以上、かつ、(B) 工程後のばね最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $20 \sim 100 \mu m$ 、比重  $7.5 \sim 9.0$  の微細金属粒子を、 $70 m/sec \sim 200 m/sec$  の衝突速度であって、かつ、粒子衝突による窒化されたばね表層鉄地の瞬間的昇温限界を窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程とを有することを特徴とする。

【0012】

また、本発明の第3の処理方法は、

(A) ばねの表層を窒化处理する工程と、

(B) 窒化处理されたばねの表面へ、硬さ  $H_v 500 \sim 800$  であって、かつ、窒化处理されたばねの最表層硬さよりも軟らかい、粒径  $500 \sim 900 \mu m$  の硬質金属粒子を、 $50 m \sim 90 m/sec$  で投射し、これにより表層マイクロクラックの発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部にまで付与する工程と、

(C) 前記 (B) 工程の後のばねの表面へ、硬さが (B) 工程後の最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $0.2 \sim 0.4 mm$  径の硬質金属粒子を投射して圧縮残留応力と硬さを増大させる工程と、

(D) 前記 (C) 工程の後のばねの表面へ、硬さ  $H_v 600$  以上、かつ、(C) 工程後の最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径  $20 \sim 100 \mu m$ 、比重  $7.5 \sim 9.0$  の微細金属粒子を、 $70 m \sim 200 m/sec$  の衝突速度であって、かつ、粒子衝突によるばね表層部の瞬間的昇温限界を窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、窒化されたばね表層部の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射する工程と、

を有することを特徴とする。

【0013】

また、本発明の第4の処理方法は、第2又は第3の処理方法の工程(B)と(C)の間、又は第3の処理方法の工程(C)と(D)の間に、ばねを150°Cから250°Cの温度に保持して歪時効硬化を起こさせる工程を挿入したことを特徴とする。

【0014】

また、本発明の第5の処理方法は、前記第1～第4の処理方法において、ばねの最表層硬さを、Hv800～1100となるように窒化処理したことを特徴とする。

【0015】

また、本発明の第6の処理方法は、前記第1～第5の処理方法で製造したばねを、無負荷または静負荷のもとで、150～250°Cの温度に保持して歪時効硬化を起こさせることを特徴とする。

【0016】

なお、本願明細書で規定する投射粒子の硬さは、新品での硬さを指すものとする。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施形態を開発段階の説明を交えて説明する。

(実施形態1)

窒化によって弁ばね、クラッチばね等の耐久性、特に耐疲労強度を向上させるため、次のような工程が従来より採用されている。

【0018】

ばね用合金鋼オイルテンパー線(以下OT線という)→ばね成型(冷間コイルリング)→残留応力除去焼鈍→座面研磨→表面スケール除去→窒化処理→ショットピーニング→低温焼鈍

ここで、窒化後のショットピーニングとして、通常、一段ショットの場合は粒径0.5～0.9mm程度のHv500～800の鋼球、またはカットワイヤ等

の多数の硬質金属粒子を投射する。また二段ショットの場合は、粒径0.5～0.9mm程度の多数の鋼球のショット後に、粒径0.2～0.4mm程度の多数の金属粒子を投射する。

【0019】

本発明者は、窒化後のショットピーニングについて種々の条件で試験を実施した。そして窒化後、

(1) 従来と同様に粒径0.5～0.9mmの硬質カットワイヤ、鋼粒子等を、速度 $v = 50 \sim 90 \text{ m/sec}$ で投射し、カバレッジ80%以上、望ましくは100%以上とした後、さらに、

(2) 硬さ $H_v 600$ 以上、かつ、ばねの最表層硬さと同等以下の硬さを有し、粒径 $20 \sim 100 \mu\text{m}$ の高炭素鋼微粒子や高速度鋼微粒子などの硬質金属粒子を、速度 $v = 70 \text{ m/sec}$ 以上、 $200 \text{ m/sec}$ 以下、カバレッジ95%以上で投射することによって、単に(1)のみの工程によるものと比較して、表面から $10 \sim 30 \mu\text{m}$ の深さにおける極表面部の残留応力を大きく改善できることを見出した。

【0020】

さらに、この工程(1)と(2)の後、低温焼鈍によってショットの影響層(表層 $150 \sim 200 \mu\text{m}$ )における転位固着を確実にすることによって、耐疲労性及び耐へたり性において、従来の(1)のみによっては得ることができなかった非常に良好な耐久性を有するばねを得ることができた。

【0021】

なお、硬さが $H_v 600$ 以上で、かつ、ばね最表層硬さと同等以下の硬さを有する、粒径 $20 \sim 100 \mu\text{m}$ の高炭素鋼微粒子などの金属粒子をワークに投射する場合は、速度が $v = 150 \text{ m/sec}$ であっても、局所的変形である疲労寿命を損なうせん断変形帯(adiabatic shear band)を殆ど発生せず、耐久性向上効果が大きいことが分かった。投射速度は $v = 70 \text{ m/sec}$ よりもさらに高速にした方が残留応力等の付与効果は大きい、 $130 \sim 150 \text{ m/sec}$ を越えると次第に効果は小さくなる。投射エネルギーはショット粒子の質量と速度の二乗に比例するので、より密度の高い粒子で、かつ、速度は $100 \sim 120 \text{ m/sec}$

c よりも  $150\text{ m/sec}$ 、 $150\text{ m/sec}$  よりも  $180\sim 200\text{ m/sec}$  の方がばね表面への単位面積当りの投射エネルギーが大きくなる。しかし、個々の粒子の投射エネルギーが大きくなり過ぎると、ばね表層部への悪影響を生じて疲労寿命向上効果が十分発揮されなくなることが分かった。

## 【0022】

すなわち、本発明では密度が高く、かつ、硬さが  $Hv\ 1300\sim 1600$  の比較的高価な超合金製の微粒子を使用することなく、 $Hv\ 600\sim 1000$  程度の安価な炭素鋼、低合金鋼や高速度鋼などの鉄系などの金属合金微粒子を速度  $70\text{ m/sec}$  以上で投射して、表層における圧縮残留応力を高いレベルで付与すると共に、疲労寿命を阻害する表面のマイクロクラックや局所的せん断変形帯を防止するものである。

## 【0023】

超硬粒子は非常な高硬度、高密度であるため、投射すると、衝突を受けたばね表面部の不均一変形を助長し、また表面粗さを増大させ、表面部にマイクロの鋭利なへこみができやすい。あるいは、短時間投射でもオーバーピーニングとなって表層が脆くなり、疲労強度・寿命向上効果はあるものの、限界があることが分かった。

## 【0024】

次に、窒化後、 $0.6\text{ mm}$  径、硬さ  $Hv\ 550$  の鋼粒子を約  $70\text{ m/sec}$  でカバレッジ  $100\%$  以上で予めショットピーニングして最表層硬さを  $Hv\ 930$  に調整したワークに対して、 $Hv\ 900$ 、粒径  $50\ \mu\text{m}$ 、比重約  $8.2$  の高速度鋼粒子を実験的に投射した場合（SS処理）の圧縮残留応力とショット速度との関係について説明する。

## 【0025】

なお、対象ワークはばね材料であり、成分は重量割合で  $C: 0.60\%$ 、 $Si: 1.45\%$ 、 $Mn: 0.68$ 、 $Ni: 0.28\%$ 、 $Cr: 0.85\%$ 、 $V: 0.07\%$  である。

## 【0026】

また、温度制御に関しては、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層

を除外)の瞬間的昇温限界を、窒素原子による歪時効と加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射した。このような温度制御がなされていることの確認は、ショット後の試料ワークの表層の、マイクロビッカース硬さ測定や電子顕微鏡による高倍率組織観察などの手法でなされる。

#### 【0027】

ここで「窒素原子による歪時効と加工硬化」について若干説明することとする。窒化されたばね鋼材表面には、イプシロン鉄窒化物などの鉄系窒素化合物が形成されることがある。さらにその内部には、鋼中に拡散浸透した窒素原子の一部によって比較的微細な鉄窒化物が形成されて硬さ上昇に寄与する。しかし、これら以外にも鉄地中には固溶した窒素が存在し、この固溶窒素はそれ自体で硬さ上昇と圧縮残留応力向上に寄与する。この固溶窒素は、SS処理の時には塑性変形に対する抵抗となるが、ワーク表層が塑性変形を開始すると、転位が運動すると共に発熱の影響を受けて、窒素原子の鉄中の拡散速度が上昇する過程で、転位の少なくとも一部を固着する。これがいわゆる窒素による歪時効である。これによって、ばね使用時の表層の繰返し応力によるすべり変形帯の発生を防止し、その結果として疲労破壊の微小亀裂生成を防止すると考えられる。窒素は炭素に比較してその固溶度ははるかに大きく、しかも鋼中のマンガンやシリコンなどとの共存によってその固溶度は鉄-窒素二元系の場合の固溶度よりもはるかに大きくなると考えられる。この点からもばね鋼に対する窒化とその後のSS処理は、ばね特性向上のために非常に有効であるといえる。

#### 【0028】

前記実験の結果を示す図1から分かるように、速度  $v = 90 \sim 152 \text{ m/sec}$  の間で、表層近傍 ( $10 \mu\text{m}$  深さ) の最大圧縮残留応力値は  $1800 \text{ N/mm}^2$  を超え、良好な分布を示した。特に、 $v = 90 \text{ m/sec}$  の条件では最表面の圧縮残留応力はほぼ  $2000 \text{ N/mm}^2$  となり、分布も良好で、疲労強度向上効果が大きいことが分かる。すなわち、 $v \leq 152 \text{ m/sec}$ 、寸法  $50 \mu\text{m}$  の高速度鋼粒子投射では、ワーク表面近傍に局所的な断熱せん断帯や窒化化合物層のクラックなどの、疲労寿命を阻害する可能性のある欠陥は殆ど発生しないのであ

る。

【0029】

また、最表層と  $10\mu\text{m}$  深さの応力曲線が交差する点におけるショット速度は  $95\text{m/sec}$  であるが、この交差点の前後  $20\%$  のショット速度 ( $76\sim 114\text{m/sec}$ ) では表層圧縮残留応力が  $1800\text{N/mm}^2$  以上となり、比較的厚い表層範囲で大きな圧縮残留応力を形成可能であることが分かる。

【0030】

表層  $40\mu\text{m}$  深さでは投射速度に拘わらず圧縮残留応力がほぼ一定であるので、

表層  $20\sim 30\mu\text{m}$  深さ辺りが本発明による表面処理の作用の限界と思われる。

【0031】

なお、詳しい説明は省略するが、窒化の程度を色々変えて実験した結果、ばねの最表層硬さが  $Hv\ 800\sim 1100$  となるように窒化した場合が、その後のショットピーニングによる圧縮残留応力の形成状態が比較的厚い表層範囲で大きな値が得られて最も良好であった。

【0032】

しかし、 $50\mu\text{m}$  粒子投射でも速度が  $170\text{m/sec}$  程度を越えると、表面近傍に微細クラックや強変形帯が出現するとともに、残留応力もより低速の場合より低下する。

【0033】

投射速度  $v = 190\text{m/sec}$  の場合、表層にもともと存在した窒素化合物層が部分的に剥離または割れてマイクロクラックを生じるとともに、残留応力も  $v = 90\sim 152\text{m/sec}$  の場合よりもやや低下気味となる。

【0034】

そして投射速度が  $200\text{m/sec}$  を越えると表層残留応力はさらに小さくなるとともに表層のマイクロクラックも顕著になり、表面改質の効果が小さくなる。

【0035】

このため、本発明では、微粒子投射速度の上限を  $200\text{m/sec}$  とした。

【0036】

次に、粒子の硬さを少し下げてHv700とし、粒径は同じ50 $\mu$ mとした鋼粒子を使用して前記と同様の実験を行った。この結果、速度190m/secの場合、高速度鋼粒子投射と同様、化合物層のミクロクラック発生と一部剥落が認められた。また、速度v=90m/secから150m/secの場合、表層近傍の最大圧縮残留応力は上記の高速度鋼粒子投射のときよりやや小さいものの1700N/mm<sup>2</sup>程度を示し、耐久性向上に大きな効果が期待できることが分かった。この時使用した供試の窒化ばねの表面の硬さはHv930程度である。微細粒子投射完了後のばね表層硬さは微増のHv950程度に止まったが、上述のように、ワーク最表層硬さと同等以下の硬さの粒子投射でワーク表層に大きな圧縮残留応力が形成されることが確認された。

## 【0037】

なお、前記実験は窒化後に0.6mm径、硬さHv550の鋼粒子を事前投射してからSS処理をしたが、線径や板厚が大きくても1~2mm程度のワークの場合には、このような事前投射をしても利点は少なく、むしろ窒化後直ちにSS処理を行った方が、とりわけ線径や板厚が1mm以下のワークについては、耐疲労性をはじめとする性能面やコスト面で有利である。

## 【0038】

ただし、線径や板厚が1~2mm程度のワークに対しては、窒化後に0.2~0.4mm径でワーク最表層硬さより軟質の鉄系粒子を50~90m/secで投射してから前記SS処理を行うと、窒化後直ちにSS処理を行った場合よりも耐疲労性等の性能面が改善されることが確認された。

## 【0039】

以上のように、ワークよりも軟らかいか又はワークと同程度の硬さの粒子（以下、「軟質粒子」という。）の投射で有効な結果が得られるのは次の理由によるものと考えられる。

①窒化处理したまま、又は窒化处理後、0.9mm~0.2mm径の前述のショット投射をした硬いワークの表面に、いきなり超硬微粒子を投射すると、ミクロクラックが発生したり表面粗さが増大して耐久性が低下するおそれがあるが、軟質粒子を投射すると、ワークの塑性変形よりも粒子の塑性変形が割合として大き



く、これによってミクロクラックの発生が抑制されると共に表面粗さの増大を回避することができる。そして軟質粒子の投射を続行する間に、粒子衝突による瞬間発熱によってワーク表層およびその直下の、深さおよそ  $50\ \mu\text{m}$  までの窒素添加（窒化）領域で温度上昇による変形抵抗の低下が起こり、そのために塑性変形が起こること、

②塑性変形で生成した転位の少なくとも一部が拡散した窒素原子によって固着されること、

③ワークの極表層では降伏強さも高く、粒子衝突による変形は主として弾性変形であるが、わずかに内部に入った領域では降伏点が深さと共に低下するため塑性変形が起こること、及び、

④繰返し衝突で投射粒子自身が徐々に加工硬化して硬さが増加し、それまでの投射による温度上昇で変形抵抗が程よく低下したワーク表層を、前記のように硬さが増加した軟質粒子によって、ミクロクラックを発生させないで効果的に塑性変形させることができる。

#### 【0040】

以上の理由により、窒化处理したワークに軟質粒子を投射した場合は、ワーク表層の比較的厚い範囲で大きな圧縮残留応力を形成することができるのである。

#### 【0041】

投射終了後、ワークの温度は室温まで低下し、その結果、表層直下約  $50\ \mu\text{m}$  深さまでの硬さの上昇も認められる。粒子投射中に回復再結晶が起こるほどワーク温度が上昇すると、投射を受けた表層部は粒子投射で軟化を起こし、残留応力も低下してしまうので、投射を受けたワークの温度は回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しなければならないことが分かる。

#### 【0042】

次に、投射粒子の材質は一定で硬さ  $H_v 900$ 、比重 8.2 とし、投射のエア一圧を 0.6 気圧で一定として、投射粒子寸法を変化させて圧縮残留応力との関係を図 2 にプロットした。対象ワークはばね材料であり、成分は重量割合で C : 0.60%、Si : 1.45%、Mn : 0.68、Ni : 0.28%、Cr : 0.85%、V : 0.07% である。このばね材料は弁ばね用高強度オイルテン

パー線であり、これを冷間でばね成形後デスケールし、さらに435℃で一定時間窒化した。引続き、0.6mm径の硬さHv550の鋼粒子を十分に投射した。これを供試材とした。

## 【0043】

図2より明らかなように、投射粒子が大きくなるにつれて、表面残留応力は低下する傾向が認められた。特に、粒子寸法が200 $\mu$ mを超えると表層近傍の改善効果は少ないことを確認した。投射粒子寸法が50 $\mu$ mでは、100 $\mu$ mよりも表層残留応力は大きくなり、疲労耐久性も優れる。100 $\mu$ mより投射粒子径が大きくなると、表層の残留応力付与の効果は認められるが、100 $\mu$ m以下の場合と比較してその効果は少なくなるので、本願発明では、微粒子の最大寸法として100 $\mu$ mを限度とした。また、微粒子寸法が20 $\mu$ mより小さくなると空気抵抗に妨げられて残留応力付与の効果が出ない。

## 【0044】

投射微粒子の硬さがHv600より小さいと、粒子の摩耗が激しくなり、また、ワーク表層への改質効果も少なくなる。

## (実施形態2)

次に、本発明の別の実施形態2について述べる。ばね表面を窒化後、

(3) 速度 $v=50\sim90\text{ m/sec}$ 、硬さHv500 $\sim$ 900の鉄系硬質金属粒子(粒径0.5 $\sim$ 0.9mm)を十分に投射したのち(カバーレージ80 $\sim$ 100%以上)、

(4) ばね素材の成分に応じた150 $\sim$ 250℃程度の温度で、数分ないし1時間加熱して転位を固着する。この後、さらに

(5) ばねを冷却した後、もしくは低温焼鈍加熱された温間のばねに対して、粒径が20 $\sim$ 100 $\mu$ mの金属粒子を、速度 $v=70\text{ m/sec}$ 以上200 $\text{ m/sec}$ 以下の高速で投射し(カバーレージ95%以上、望ましくは100%以上)、表層部の硬さと圧縮残留応力を十分に高める。これによって、前記実施形態1に述べた方法よりも高い表層硬さと高い圧縮残留応力を得ることができる。なお、このときの温度制御は実施形態1と同様である。

## 【0045】

【発明の効果】

ばね表面及び表面近傍深さでの残留応力と硬さを大幅に改善でき、これにより特に繰り返し応力振幅の比較的大きい場合でも表面からの疲労折損を防止でき、高応力における疲労寿命を大幅に改善できる。

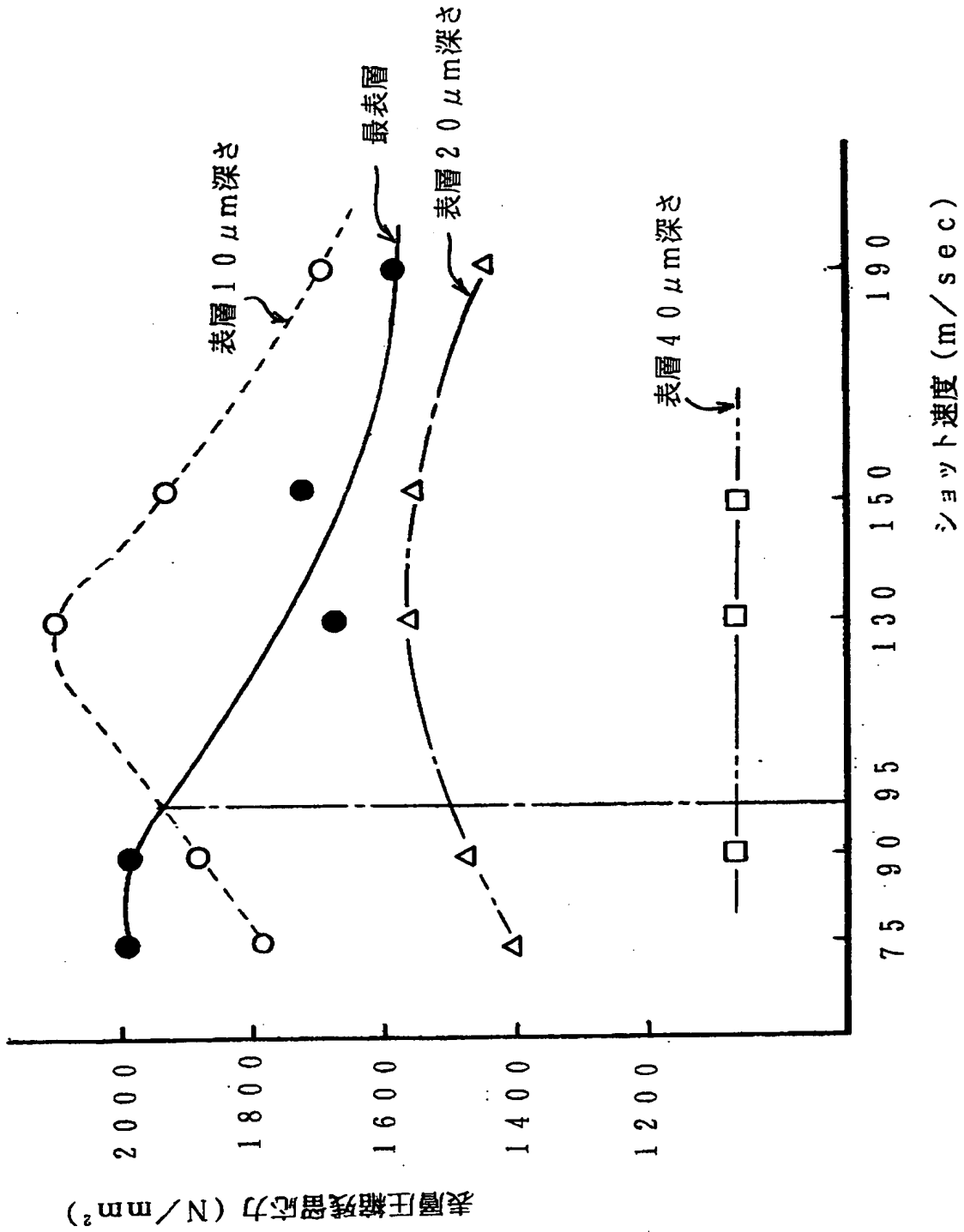
【図面の簡単な説明】

【図 1】 圧縮残留応力と投射速度の関係曲線図。

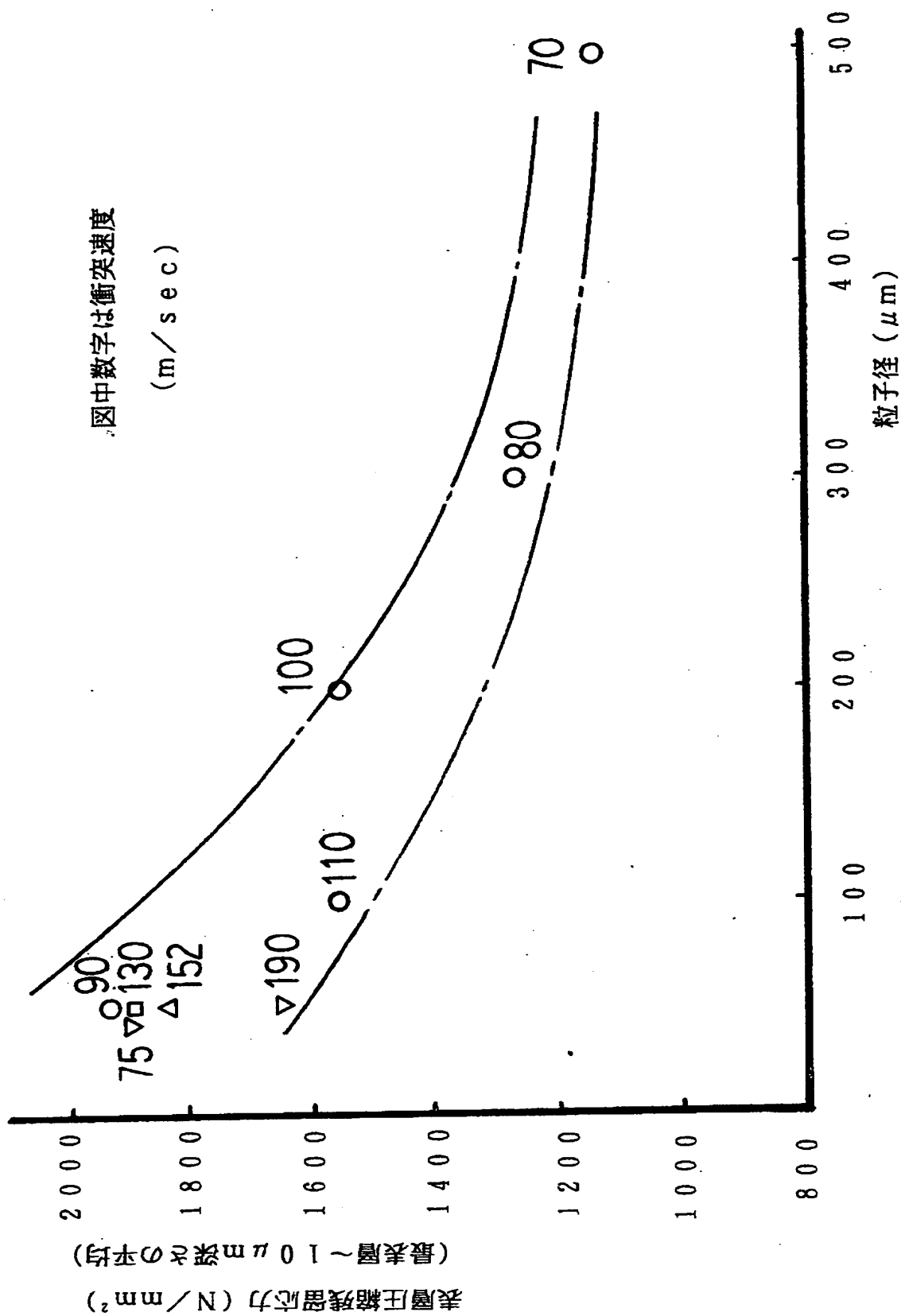
【図 2】 圧縮残留応力と投射粒子径の関係曲線図。

【書類名】 図面

【図1】



【図2】



【書類名】 出願人名義変更届

【整理番号】 P11-049

【提出日】 平成11年 3月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

【出願番号】 平成11年特許願第 41865号

【承継人】

【住所又は居所】 東京都江戸川区松江5丁目2番24号

【氏名又は名称】 株式会社不二製作所

【承継人】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市北区丸新町471番地

【氏名又は名称】 株式会社不二機販

【承継人代理人】

【識別番号】 100064584

【弁理士】

【氏名又は名称】 江原 省吾

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019677

【納付金額】 4,600円

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第041865号
受付番号	59900298025
書類名	出願人名義変更届
担当官	宇留間 久雄 7277
作成日	平成11年 7月13日

<認定情報・付加情報>

【承継人】

【識別番号】	000154129
【住所又は居所】	東京都江戸川区松江5丁目2番24号
【氏名又は名称】	株式会社不二製作所

【承継人】

【識別番号】	000154082
【住所又は居所】	愛知県名古屋市北区丸新町471番地
【氏名又は名称】	株式会社不二機販

【承継人代理人】

申請人	
【識別番号】	100064584
【住所又は居所】	大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大 阪商工ビル8階 江原特許事務所
【氏名又は名称】	江原 省吾

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000175722]

1. 変更年月日 1991年 6月12日

[変更理由] 名称変更

住 所 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

氏 名 サンコール株式会社



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000154129]

1. 変更年月日	1996年 6月13日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都江戸川区松江5丁目2番24号
氏 名	株式会社不二製作所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000154082]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	愛知県名古屋市北区丸新町471番地
氏 名	株式会社不二機販